

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

# AA

(11)Publication number : 09-184934  
(43)Date of publication of application : 15.07.1997

(51)Int.Cl. G02B 6/122

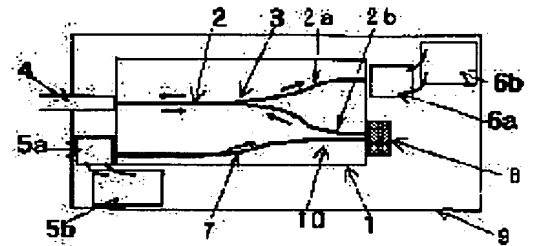
(21)Application number : 07-353483 (71)Applicant : NEC CORP  
(22)Date of filing : 30.12.1995 (72)Inventor : KITAMURA NAOKI

## (54) OPTICAL TRANSMISSION AND RECEPTION MODULE

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To improve the reception characteristics of an optical transmission and reception module.

**SOLUTION:** A 2nd optical waveguide 2b between two branch-side optical waveguides formed on a waveguide substrate 1 is optically coupled with a return optical waveguide 7 by a reflecting mirror 8 at the other end part of the waveguide substrate 1, and the return optical waveguide 7 is optically coupled with an optical transmitter (semiconductor light source) 5a. The optical transmitter 5a and an optical receiver (semiconductor optical detector) 6a can be positioned on both ends of the waveguide substrate 1 to solve the restrictions of the arrangement space and the crosstalk of respective electric circuits. Further, since the optical transmitter 5a can be the coupled optically with return optical waveguide 7, even if the return optical waveguide 7 has loss, it can be compensated by adjusting the light output, so that desired light output to an optical fiber 4 can be obtained.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]	30.12.1995
[Date of sending the examiner's decision of rejection]	10.03.1998
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]	
[Date of final disposal for application]	
[Patent number]	2919329
[Date of registration]	23.04.1999
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]	10-05660
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]	09.04.1998
[Date of extinction of right]	

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-184934

(43)公開日 平成9年(1997)7月15日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 2 B 6/122

識別記号

庁内整理番号

F I

G 0 2 B 6/12

技術表示箇所

D

審査請求 有 請求項の数 5 F D (全 7 頁)

(21)出願番号

特願平7-353483

(22)出願日

平成7年(1995)12月30日

(71)出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72)発明者 北村 直樹

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

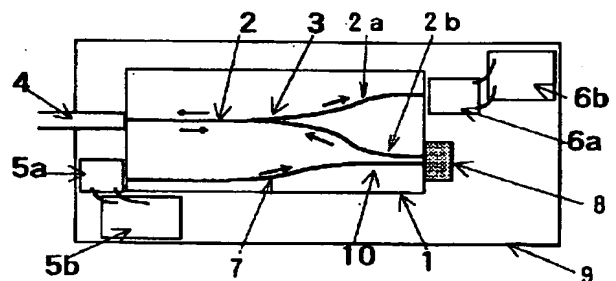
(74)代理人 弁理士 鈴木 章夫

(54)【発明の名称】 光送受信モジュール

(57)【要約】

【課題】 双方向通信システム用の光送受信モジュールでは、光送信器と光受信器とを並んで配置しているため、配置スペース上の制約や電気回路のクロストークが生じる。また、折り返し光導波路を有するものでは、光受信器側の光損失の影響が大きい。

【解決手段】 導波路基板1に形成された分岐側の2本の光導波路のうち第2の光導波路2bは導波路基板1の他方の端部において折り返し光導波路7と反射ミラー8により光結合され、かつ折り返し光導波路7は光送信器(半導体光源)5aと光結合される。光送信器5aと光受信器(半導体光検出器)6aは導波路基板1の両端に位置でき、配置スペースの制約やそれぞれの電気回路のクロストークが解決できる。また、折り返し光導波路7に光送信器5aが光結合されるため、折り返し光導波路7に損失が生じたときでも光出力を調整することによりこれを補償でき、光ファイバ4へ所望の光出力を得ることができる。



1 導波路基板  
2 光導波路  
3 光分岐部  
4 光ファイバ  
5 a 半導体光源  
5 b 電気回路

6 a 半導体光検出器  
6 b 電気回路  
7 折り返し光導波路  
8 反射ミラー  
9 光送受信モジュール  
10 方向性結合器

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光分岐機能を有する光導波路が導波路基板の一方の端部から他方の端部に向けて延設され、その一方の端部において前記光分岐導波路の非分岐側の光導波路に光ファイバが光結合され、前記光分岐導波路の分岐側の2本の光導波路にそれぞれ光送信器と光受信器が光結合された光送受信モジュールにおいて、前記分岐側の2本の光導波路のうち第1の光導波路は前記導波路基板の他方の端部において光受信器に光結合され、第2の光導波路は前記導波路基板の他方の端部において一方の端部に向けて折り返された折り返し光導波路として構成され、かつこの折り返し光導波路は前記一方の端部において光送信器と光結合されることを特徴とする光送受信モジュール。

【請求項2】 分岐側の第2の光導波路と折り返し光導波路とは導波路基板の他方の端部において近接配置され、かつこの他方の端部の端面に配置された反射膜によって光結合された方向性結合器として構成される請求項1の光送受信モジュール。

【請求項3】 導波路基板の他方の端部における分岐側の第2の光導波路から出射される光量と、折り返し光導波路から出射される光量が等しくなるように方向性結合器の長さを設定してなる請求項2の光送受信モジュール。

【請求項4】 方向性結合器における分岐側の第2の光導波路と折り返し光導波路との間隔を4 $\mu$ m以下に設定してなる請求項2または3の光送受信モジュール。

【請求項5】 非分岐側の光導波路と光合分波器を構成する分波用光導波路が形成され、この分波用光導波路に第2の光ファイバが光結合されてなる請求項1ないし4のいずれかの光送受信モジュール。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は双方向光通信システムを構成する光送受信モジュールに関し、特に小型化を図り、かつ低損失で受信特性を改善した光送受信モジュールに関する。

## 【0002】

【従来の技術】最近、双方向の通信システムに対する必要性が高まり、また家庭にまでこのシステムを導入することが望まれている。双方向通信を可能にさせるデバイスとしては光の送信器と受信器が必要になるが、これらを個別に構成していたのでは光送受信装置が大型化し、システム普及の妨げになる。さらに送信、受信用光ファイバも個別にしていたのでは不経済であり、1本の光ファイバで双方向通信を行うことが望ましい。したがって、1本の光ファイバで光送信器と受信器を集積化したデバイスが望まれる。さらに波長の異なる光を1本の光ファイバに多重し、この光を分波し取り出すことにより、双方向通信用信号とは別にこの波長の異なる光に映

像信号等の別の機能を持った信号をのせることができる。

【0003】このような背景から、小型化、高集積化、低コスト化を目指す構造として光導波路を用いたものが検討されている。図8はこの種の光送受信モジュールの一例の平面図である。この光送受信モジュールでは導波路基板1上に光導波路2が形成され、この光導波路2により光分岐部3が構成されている。一般にこの光分岐部3は、低損失かつ構造が単純なY分岐を用いて構成される。また、光分岐部3の非分岐側の光導波路には、光ファイバ4が光学結合され、分岐側の2本の光導波路にはそれぞれ送信用の半導体光源5a、及び受信用の半導体光検出器6aが光学結合されている。なお、これら半導体光源5a、及び半導体光検出器6aには、これらを駆動するための電気回路5b、6bが近接配置される。そして、これらの構成部品を一体的に構成することでモジュール7を構成し、これによりモジュール7の小型化、低コスト化が可能となる。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】このような従来の光送受信モジュールでは、Y分岐により分岐側光導波路が形成されているため、これらの分岐側光導波路に光学結合される半導体光源5aと半導体光検出器6aは導波路基板の一侧に並んで配置されることになるため、両者が近接されて配置のためのスペースに制限を受け、その組み立てが困難となる。特に、これらと共に電気回路5b、6bも近接されるため、電気的なクロストークの劣化が生じることになる。この問題を解消するために、半導体光源5aと半導体光検出器6aとの距離を離すと、分岐側の導波路の間隔がこれに対応する間隔になるまでの距離長が長くなるため、全体のサイズが大きくなり、送受信モジュールに要求される小型化、低コスト化を達成することが難しくなる。また、分岐側光導波路の曲げ半径を小さくして両者の間隔を大きくすると、デバイスサイズの小型化は可能であるが、曲がり半径が小さくなるほど光の閉じ込めが弱くなるため導波光が光導波路の外に放射され、導波路損失の増大を招くことになる。

【0005】このような問題を解決するものとして、特開平6-97561号公報では、分岐側の一方の光導波路を導波路基板の端面において折り返し、この折り返した光導波路を導波路基板の反対側の端面にまで延長し、光をこの導波路基板の端面において反射させる技術が記載されている。この技術を図8に示した光送受信モジュールに適用すれば図9のようになる。同図のように、分岐側の光導波路2の端部を導波路基板1の反対側の端部にまで延設した折り返し光導波路7を形成し、この折り返し光導波路の端部に半導体光検出器6aを光結合している。この構成では、送信側の半導体光源5aと受信側の半導体光検出器6aが導波路基板1の反対側の面に配置されるために、前記したような半導体光源と半導体光

検出器とが近接されることによる問題を解消することは可能である。

【0006】しかし、この公報に記載の技術では、折り返し側の光導波路7に半導体光検出器6aを配置した構成とされているため、半導体光検出器側の導波路の長さが長くなり、しかもその途中に導波路基板1の端面での反射による光導波の損失があるため、結果として光導波損失が他方の光導波路よりも大きくなり、半導体光検出器で検出しようとする光信号の強度が劣化されてしまうことになる。そして、このような受信側の光信号の強度はモジュール側では制御できないため、結果として半導体光検出器に入力される光信号強度が劣化され、受信特性が劣化してしまうという問題がある。

【0007】本発明の目的は、従来の光送受信モジュールに比べて、特に受信特性の劣化を改善することが可能な光送受信モジュールを提供することにある。

【0008】本発明の光送受信モジュールは、光分岐機能を有する光導波路に設けられる分岐側の2本の光導波路のうち第1の光導波路は導波路基板の他方の端部において光受信器に光結合され、第2の光導波路は前記導波路基板の他方の端部において一方の端部に向けて折り返された折り返し光導波路として構成され、かつこの折り返し光導波路は前記一方の端部において光送信器と光結合される構成とする。

【0009】ここで、分岐側の第2の光導波路と折り返し光導波路とは導波路基板の他方の端部において近接配置され、かつこの他方の端部の端面に配置された反射膜によって光結合された方向性結合器として構成されてもよい。この場合、導波路基板の他方の端部における分岐側の第2の光導波路から出射される光量と、折り返し光導波路から出射される光量が等しくなるように方向性結合器の長さを設定することが好ましい。また、方向性結合器における分岐側の第2の光導波路と折り返し光導波路との間隔を4 $\mu$ m以下に設定することが好ましい。

【0010】本発明によると、分岐側の2本の光導波路のうち第2の光導波路は導波路基板の他方の端部において折り返された上で半導体光源と結合するために、半導体光源と半導体光検出器はそれぞれ導波路基板の両端に位置される。これによって半導体光源と半導体光検出器の導波路基板への実装は簡単になり、また両者が導波路基板を挟んで離れているために、これらを駆動する電気回路も離れた位置に在り、電気的クロストークの劣化を生じない。また、光導波路が折り返されることにより光の損失が増加するが、折り返し光導波路に光結合された半導体光源の光出力を調整することにより折り返しによる損失を補償でき、光ファイバへ所望の光出力を得ることができる。

【0011】

【発明の実施の形態】次に、本発明の実施形態を図面を参照して説明する。図1は本発明の第1の実施形態の平

面図である。この光送受信モジュールでは、これまでと同様に導波路基板1上に、その一方の端面から他方の端面に向けて光導波路2が形成されており、かつこの光導波路2には低損失かつ構造が単純なY分岐からなる光分岐部3が構成されている。また、前記光導波路2の一侧には、これと略平行に前記導波路基板1の一方の端面から他方の端面の間に折り返し光導波路7が形成されている。そして、この折り返し光導波路7の他端部は前記光分岐部3により分岐された2本の分岐側光導波路のうちの一方の光導波路2bに近接配置されている。

【0012】そして、非分岐側の光導波路2には光ファイバ4が光学結合されている。また、分岐側の光導波路のうち、前記折り返し光導波路7が近接されていない側の第1の光導波路2aには受信用の半導体光検出器6aが光学結合されている。さらに、折り返し光導波路7が近接されている第2の光導波路2bと折り返し光導波路7の各他端部が終端されている導波路基板1の他方の端面には反射ミラー8が装着され、反射効率を高めている。そして、前記折り返し光導波路7の反対側の端部に送信用の半導体光源5aが光学結合されている。なお、前記半導体光源5aと半導体光検出器6aにはそれぞれの電子回路5b、6bが近接配置された上で電気接続が行われ、その上で、これらの構成部材は一体化されて光送受信モジュール9として構成される。ここで、前記反射ミラー8は、例えば、あらかじめAu、Al、Agや誘電体多層膜等の反射膜が装荷された物体を導波路端面に貼り合わせた構造とされる。或いは、導波路基板1の端面に直接前記反射膜を貼り付けてもよい。

【0013】このように構成された図1の光送受信モジュールでは、送信用の半導体光源5aと受信用の半導体光検出器6aは導波路基板1の反対側の端部にそれぞれ配置されるため、それぞれの配置スペースに制限を受けることが少なくなり、組立工程が簡単になる。また、これに伴い半導体光源5aと半導体光検出器6aの各電気回路5b、6bも相互に離間配置されるため、これら電気回路同士の電気的クロストークを抑圧することができる。さらに、分岐側の2本の光導波路2a、2bの間隔を離す必要がないことから、各光導波路の長さを長くする必要がなく、光送受信モジュール9全体のサイズの小小型化が可能となる。また、分岐側光導波路2a、2bの曲がり半径を小さくする必要もなくなり、光の導波路への閉じ込めが低下されることによる導波光の導波路損失を抑制することができる。

【0014】さらに、この光送受信モジュール9では、分岐側の第2の光導波路2bを反射ミラー8で折り返し光導波路7に光結合し、この折り返し光導波路7に送信用の半導体光源5aを光結合しているため、この反射ミラー8での反射による損失や、折り返し光導波路7を設けることによって生じる光導波路長が長くなることによる損失が生じた場合でも、この光送受信モジュール9で

の独自の制御により半導体光源5aの出力を増加させることにより、前記した損失を容易に相殺でき、結果として所望の光出力を光ファイバ4に送信することができる。また、受信用の半導体光検出器6aは、分岐側の第1の光導波路2aに対して最短距離で光結合されているため、受信特性が劣化されることはない。

【0015】ここで、前記したように分岐側の第2の光導波路2bと折り返し光導波路7とは導波路基板1の他方の端部において略平行に近接されており、これにより両方で方向性結合器10を構成している。この方向性結合器10における光結合特性を向上するためには、例えば、次の方法が採用できる。すなわち、この方向性結合器10では、分岐側光導波路2bと折り返し光導波路7とが反射ミラー8での光反射によって光結合されるが、この場合には方向性結合器10の長さ、間隔、光導波路幅、光導波路の屈折率差、及び光の波長に対して非常に敏感であり設定に対してずれが生じると、光の損失が増加するだけでなく、入射した導波路に戻るため反射戻り光となり、半導体光源の特性を劣化させる。これらの問題を解決し、さらに低損失で反射戻り光の少ない方向性結合器を構成する方法として、図2に示す様に予め方向性結合器の長さを設定値L1に対してL2に示す分だけ長く取っておく。

【0016】そして、この状態で折り返し端面において反射ミラー8を装着する前に光の出射を観察すると、出力側の光導波路7の端面部の方が入力側の光導波路2bの端面部よりも出射光が強く観察される。その上でこの端面を研磨しながら方向性結合器10の長さを徐々に短くし光の出射を観察すると、光導波路7と光導波路2bの出射光強度は徐々に等しくなる。完全に光導波路7の出射光強度が等しくなった時点で研磨を停止し、研磨された端面に反射ミラー8を装着する。これにより、入力側の光導波路7より入力した光は完全に出力側の光導波路2bへ折り返され、低損失かつ反射戻り光の少ない折り返しが得られる。この方法では端面での出射光強度をモニタしながら最適な方向性結合器長を決めるため、前述したような設定に対するずれを吸収することができる。

【0017】また、前記したように、方向性結合器を用いた折り返し構造は、光導波路の屈折率差、及び光の波長に対しても非常に敏感であり、特に、使用する光の波長は用いる半導体光源の特性によって決定される。通常、この種の光送受信モジュールには1.3μm近辺の波長が用いられるが、±0.05μm程度のバラツキが存在している。つまり、使用する半導体光源の特性により折り返し光導波路の特性も変化することになるため、光の波長に対して安定した折り返し光導波路を構成する必要がある。図3は方向性結合器の波長特性の光導波路間隔依存性を示す計算結果である。中心波長が1.31μmになる様に方向性結合器長、屈折率差を設定した。同図より、光導波路間隔が狭くなるに従って1.31μm

m付近の波長依存性が小さくなることがわかる。また、光導波路間隔を4μm以下にすることにより±0.05μmの変動に対してクロストークを15dB以上とることができるため、波長変動に対して安定な折り返し導波路を構成することができる。

【0018】この特性に基づいて実際に折り返し光導波路を形成した際の波長特性を図4に示す。このときの光導波路間隔は2.5μmと設定した。この折り返し光導波路はプロセス工程上の変動によって中心波長が長波長側にシフトしているが、1.31μmにおいて10dB以上のクロストークが得られている。このような技術思想に基づいて方向性結合器を構成すると、波長変動だけでなくプロセスにおける変動に対しても非常に安定な導波路を形成することができる。

【0019】一方、この種の光送受信モジュールでは、導波路基板に形成された光導波路に対して光ファイバ、半導体光源、半導体光検出器を接続する際に、1μm以下の光軸合わせ精度を確保するために、導波路基板の一部にV溝を形成し、このV溝に光ファイバ等を載置して位置決めを行う技術が提案されている。この場合、半導体光検出器と光導波路の光結合に関しては、半導体光検出器の受光面積が比較的大きいため、高精度の軸調整の要求は少ない。一方、半導体光源5aと光導波路2の結合については、直接結合すると損失が非常に大きくなり、かつ許容できる軸ずれ量が非常に小さく光結合が困難であることが知られており、一般には光ファイバに近い形状をしたレンズを介して結合が行われている。

【0020】このため、この実施形態の光送受信モジュールでは、図5に示すように、導波路基板1の一方の端部において、光結合する光ファイバ4と半導体光源5aの配設位置に相当する基板の表面箇所にV溝11を形成している。そして、このV溝11を利用して非分岐側の光導波路2に対する光ファイバ4の位置決めをおこない、かつ前記したような半導体光源5aに光結合される先球ファイバ12の折り返し光導波路7に対する位置決めを行っている。このため、光ファイバ4と先球ファイバ12の各光軸を各光導波路2, 7に高精度に位置決めすることができ、光結合の低損失化が図れ、かつ無調整での実装が可能となり低コスト化も図れる。特に、この実施形態では、光ファイバ4と半導体光源5aとが導波路基板1の同じ側の端部に配置されるため、前記したV溝12を導波路基板1の一方の端部側の領域に並んで形成すればよく、製造の簡易化と小型化を促進することができ、しかも光ファイバと半導体光源の組み立ての容易化が実現できる。

【0021】ここで、本発明は、図6に示すように、光導波路の一部、すなわち非分岐側の光導波路2に沿って別の光導波路13を形成することで、この光導波路13との間に光合分波器14を形成してもよい。この光合分波器14は、一般に方向性結合器やマッハツエンダー光

干渉計型等により構成される。この光合分波器14により分波された一方の光は光ファイバ15と光学的に結合し外部に出力され、映像信号モニタ等、様々な用途に用いられる。このように、光合分波器を設けた光送受信モジュールは、図1に示した光送受信モジュールに比べて、導波路構造が複雑になっているためにそのサイズが大きくなることは否定できないが、前記した折り返し光導波路を用いた構成を採用することにより、この大型化を抑制することが可能になる。

【0022】また、折り返し光導波路と分岐側光導波路とを光結合する構造としては、図7に示すように、各光導波路7、2bを導波路基板1の他方の端部において平面配置がV字型となるように配置し、かつ端部に反射膜或いは反射ミラー8を配置することで、この反射膜による光反射のみを利用して各光導波路間での光結合を行うようにしてもよい。その他の構成及び動作は前記実施形態のものと同じである。

#### 【0023】

【発明の効果】以上説明したように本発明は、導波路基板に形成された分岐側の2本の光導波路のうち第2の光導波路は導波路基板の他方の端部において折り返された上で半導体光源と光結合されているので、半導体光源と半導体光検出器はそれぞれ導波路基板の両端に位置されることになり、半導体光源と半導体光検出器の導波路基板への実装は簡単になり、また両者が導波路基板を挟んで離れているために、これらを駆動する電気回路も離れた位置に在り、電気的クロストークの劣化を生じない。また、光導波路が折り返されることにより光の損失が増加するが、折り返し光導波路に光結合された半導体光源の光出力を調整することにより折り返しによる損失を補償でき、光ファイバへ所望の光出力を得ることができる。これにより、双方向光通信システムを構築する際の重要課題である光送受信モジュールの小型化、低損失化、量産化、低コスト化が実現可能である。

【図面の簡単な説明】

\*

\* 【図1】本発明の第1の実施形態の平面構成図である。

【図2】方向性結合器の特性を改善する技術を説明するための平面図である。

【図3】好ましい光導波路間隔を設定するための特性図である。

【図4】図3の光導波路間隔により得られる損失特性を示す図である。

【図5】光ファイバと光導波路との光軸位置合わせ構造を説明するための分解斜視図である。

【図6】本発明の他の実施形態の平面構成図である。

【図7】本発明の更に他の実施形態の平面構成図である。

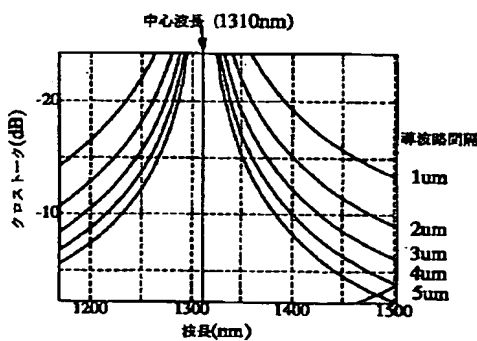
【図8】従来の光送受信モジュールの一例の平面構成図である。

【図9】従来の光送受信モジュールの他の例の平面構成図である。

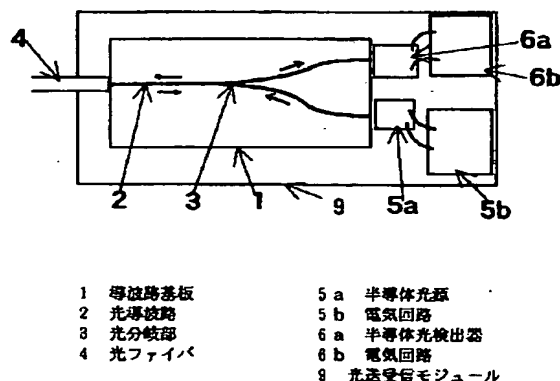
#### 【符号の説明】

- 1 導波路基板
- 2, 2a, 2b 光導波路
- 3 光分岐部
- 4 光ファイバ
- 5a 半導体光源
- 5b 電気回路
- 6a 半導体光検出器
- 6b 電気回路
- 7 折り返し光導波路
- 8 反射ミラー
- 9 光送受信モジュール
- 10 方向性結合器
- 11 V溝
- 12 先球ファイバ
- 13 光導波路
- 14 光合分波器
- 15 光ファイバ

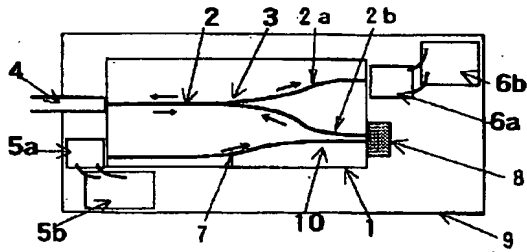
【図3】



【図8】

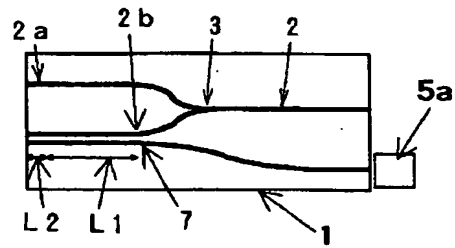


【図1】



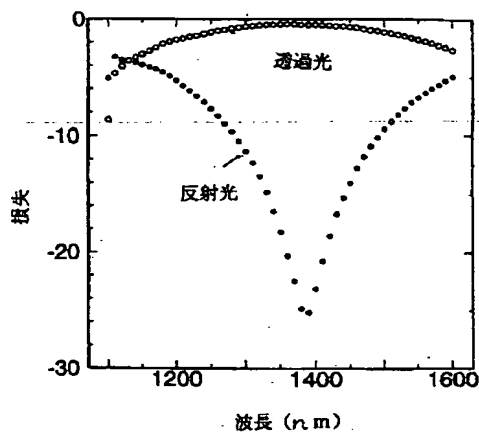
- |           |             |
|-----------|-------------|
| 1 導波路基板   | 6 a 半導体光検出器 |
| 2 光導波路    | 6 b 電気回路    |
| 3 光分岐部    | 7 折り返し光導波路  |
| 4 光ファイバ   | 8 反射ミラー     |
| 5 a 半導体光源 | 9 光送受信モジュール |
| 5 b 電気回路  | 10 方向性結合器   |

【図2】

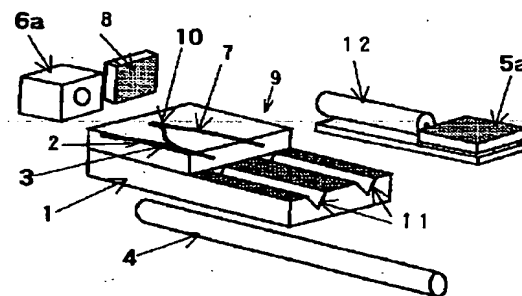


- |            |
|------------|
| 1 導波路基板    |
| 2 光導波路     |
| 3 光分岐部     |
| 5 a 半導体光源  |
| 7 折り返し光導波路 |

【図4】

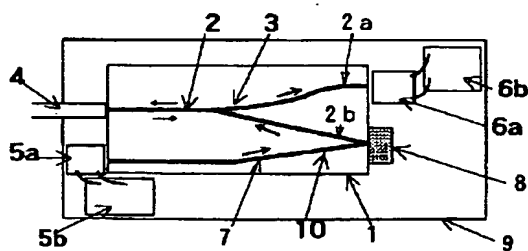


【図5】



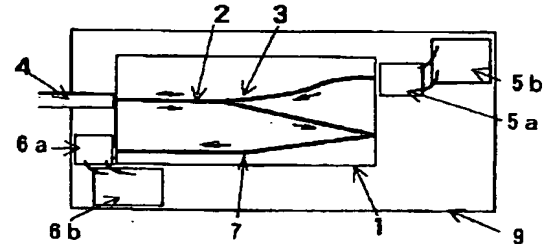
- |             |             |
|-------------|-------------|
| 1 導波路基板     | 7 折り返し光導波路  |
| 2 光導波路      | 8 反射ミラー     |
| 3 光分岐部      | 9 光送受信モジュール |
| 4 光ファイバ     | 10 方向性結合器   |
| 5 a 半導体光源   | 11 V溝       |
| 6 a 半導体光検出器 | 12 先球ファイバ   |

【図7】



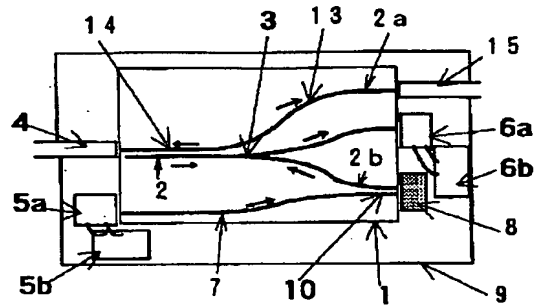
- |           |             |
|-----------|-------------|
| 1 導波路基板   | 6 a 半導体光検出器 |
| 2 光導波路    | 6 b 電気回路    |
| 3 光分岐部    | 7 折り返し光導波路  |
| 4 光ファイバ   | 8 反射ミラー     |
| 5 a 半導体光源 | 9 光送受信モジュール |
| 5 b 電気回路  |             |

【図9】



- |           |             |
|-----------|-------------|
| 1 導波路基板   | 6 a 半導体光検出器 |
| 2 光導波路    | 6 b 電気回路    |
| 3 光分岐部    | 7 折り返し光導波路  |
| 4 光ファイバ   | 9 光送受信モジュール |
| 5 a 半導体光源 |             |
| 5 b 電気回路  |             |

【図6】



- |            |             |
|------------|-------------|
| 1 導波路基板    | 7 折り返し光導波路  |
| 2 光導波路     | 8 反射ミラー     |
| 3 光分岐部     | 9 光送受信モジュール |
| 4 光ファイバ    | 10 方向性結合器   |
| 5a 半導体光源   | 13 光導波路     |
| 5b 電気回路    | 14 光合分波器    |
| 6a 半導体光検出器 | 15 光ファイバ    |
| 6b 電気回路    |             |